

論文審査の結果の要旨

氏名 平林 孝太

ブラックホールなどを中心天体とする降着円盤では、角運動量の再配分によりガス降着が発生し、輝度変動などのさまざまな天体现象を起こすと考えられている。この角運動量再配分は Shakura & Sunyaev (1973) により、応力をガス圧に対して α 倍とする α 粘性モデルとして経験的に記述され、降着円盤天体を観測的によく説明するものとしてひろく受け入れられた。その後の観測的展開により α 値について制限がつけられてきた。いっぽうで、 α 値を決定する詳細な物理機構についても理論的研究がすすめられ、磁気回転不安定 (MRI) により励起される磁気流体乱流輸送が現在ほもっとも有力視されている。しかしながら、理論的研究はいまだ進展途上にあり、とくにさまざまなプラズマ状態に対応した α 値の説明は研究課題として残されている。たとえば、天の川銀河などの銀河中心核のブラックホール降着円盤を構成する無衝突状態プラズマがそのひとつである。

本論文では、MRI について数値シミュレーションにより調べた研究が報告されている。衝突系 (第 2 章)・無衝突系 (第 3・4 章) それぞれについて調べているが主要部は無衝突系についての研究である。無衝突プラズマの、電子イオンジャイロ運動と対象天体现象との空間時間スケール間の、何桁にも及ぶ大きなギャップを埋めるべく、運動論効果の特に圧力非等方性効果を取り入れた磁気流体理論モデルを構築し、その数値計算コードを開発して、降着円盤の乱流研究に新しい枠組みを切り開いた。本研究は、無衝突プラズマ降着円盤乱流研究の端緒であり、この分野に取り組むための新たな理論的枠組みを提供したことが高く評価できる。

第 1 章は先行研究のレビューと研究目的を述べ、論文の主要な結果は第 2 章から第 4 章までに記述されている。最後の第 5 章でまとめと将来展望とが与えられている。

第 2 章では、衝突系プラズマつまり磁気流体の枠組みで、方位角方向磁場のみが初期に貫かれた系の発展について調べた。擾乱波数ベクトルが、円盤垂直な MRI に加えて、円盤面内で発展するあらたな不安定、磁場勾配駆動不安定を

発見した。これについて線形解析とともに非線形シミュレーションを行い詳しく調べ、降着円盤の角運動量輸送を担うだけの強い磁気流体乱流を発生しうることを示した。

第 3 章では、無衝突プラズマの、電子イオンジャイロ運動と対象天体現象との空間時間スケール間の、何桁にも及ぶ大きなギャップを埋める新しい理論的枠組みを記述している。磁気流体的取扱でありながら、運動論効果の特に圧力非等方性効果を取り入れた理論モデルを構築し、その数値計算コードを開発した。従来の双断熱近似（いわゆる CGL 流体）では不可能だった磁場ゼロの箇所を取り扱うことを可能とし、MRI 乱流振幅上限値の決定に重要な磁気リコネクションの磁力線つなぎかえ点を物理的に自然に扱えるようにした。

第 4 章では、円盤面垂直方向に重力成層している無衝突プラズマについての MRI を、前章にて開発した数値コードを用いて調べた結果を記述している。電子イオンマイクロ効果と、円盤成層スケールとを共存させた研究の初めての試みである。非等方圧力という無衝突効果を導入した新しいモデルでの本研究の計算結果から得られた角運動量輸送率は、衝突系磁気流体の従来研究の場合と、円盤全体での平均値がほぼ同程度であるという結果が導かれた。いっぽうで、非等方圧力効果は空間的に円盤赤道面に局在しているのが観察された。このことは、円盤構造に、角運動量輸送をになう物理過程が依存することを示しており、大域的な角運動量輸送についての無衝突効果の影響について、さらなる研究を要することを示唆する。また、新しく導入したモデルにおいて、ジャイロ化時間が運動時間に近いとき、磁気リコネクションを阻害し、結果として角運動量輸送率の上昇につながっている現象が見つかった。

論文は共同研究の部分があるが、論文提出者が主体となって研究を行っており、本人の寄与が十分にあると考えられる。

以上の理由により、博士（理学）の学位に十分に値すると認める。